

اثر نانوذرات نقره بر سمیت حاد جیوه در ماهی دانیو گورخری (*Danio rerio*)

سید علی جوهری*

*johari@uok.ac.ir

گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۴

چکیده

مطالعه اثر رویارویی همزمان آبه‌زیان با آلاینده‌های شیمیایی موجود در آب دارای اهمیت می‌باشد. یون جیوه و نانوذرات نقره جزو مواد شیمیایی هستند که از طریق تشکیل آمالگام با یکدیگر ترکیب می‌شوند. هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر حضور یک غلظت غیر کشنده از نانوذرات نقره در آب بر سمیت حاد جیوه معدنی در ماهی دانیو گورخری بود. بدین منظور غلظت‌های کشنده میانی (LC_{50}) جیوه در حضور و عدم حضور نانوذرات نقره، طبق رهنمود استاندارد OECD محاسبه گردید. مقایسه غلظت‌های کشنده میانی نشان داد که حضور $0/01$ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره، باعث کاهش $1/5$ برابری سمیت حاد جیوه در ماهی گورخری می‌شود (LC_{50} از $0/10 \pm 0/135$ به $0/02 \pm 0/206$ میلی گرم در لیتر افزایش یافت). اگرچه کاهش اثر سمیت جیوه در حضور نانوذرات نقره احتمالاً به دلیل کاهش دسترسی زیستی آن در نتیجه‌ی تشکیل آمالگام و یا جذب سطحی یون‌های جیوه بر روی نانوذرات می‌باشد، اما انجام مطالعات بیشتر برای شناخت ساز و کار دقیق اثر متقابل بین جیوه و نانوذرات نقره در محیط‌زیست آبه‌زیان ضروری به نظر می‌رسد.

لغات کلیدی: اثر متقابل، آمالگام، نانو ذرات نقره، کلرید جیوه، سم‌شناسی حاد، ماهی گورخری.

مقدمه

آلودگی آب‌ها با پساب‌های صنعتی محتوی مواد آلی و فلزات سنگین یکی از مسائلی است که زندگی زیست‌مندان آبرزی و سلامت جامعه را تهدید می‌نماید. اگرچه در بیشتر مطالعات منتشر شده، سمیت مواد شیمیایی گوناگون در آبریان به صورت تک تک مورد بررسی قرار گرفته است، اما در حقیقت محیط‌زیست آبی در معرض مجموعه‌ای از ترکیبات شیمیایی طبیعی و یا ساخت دست بشر همچون فاضلاب انسانی و شهری، هیدروکربن‌های معطر، فلزات، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها، مواد شیمیایی مختل‌کننده غدد درون‌ریز، مواد دارویی، میکروپلاستیک‌ها، نانومواد و غیره قرار دارد. حضور همزمان این آلاینده‌های شیمیایی در بوم‌سازگان‌های آبی، می‌تواند دارای اثرات متفاوت (کاهشی یا افزایشی) نسبت به اثرات انفرادی هر یک از آن‌ها بر آبریان باشد و بنابر این لازم است که علاوه بر مطالعه انفرادی سمیت مواد شیمیایی در آبریان، پژوهش در مورد اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر نیز مورد توجه قرار گیرد.

نانوذرات نقره یکی از پُر مصرف‌ترین نانومواد ساخت دست بشر هستند که به دلیل داشتن ویژگی‌های ضد میکروبی قوی، استفاده از آن‌ها در محصولات مختلف همچون مواد آرایشی، مواد شوینده، پوشاک، کفش، افزودنی‌های غذایی و نیز بصورت پوشش ماسک‌های تنفسی، فیلترهای آب، گوشی‌های تلفن، لپ‌تاپ، اسباب‌بازی و سیستم‌های تصفیه آب خانگی (همچون Aquapure، Kinetico و QSI- Nano) کاربرد دارد (Woodrow Wilson Database, 2013). میزان تولید نانوذرات نقره در جهان حدود ۵۵ تن در سال تخمین زده شده است (Piccinno et al., 2012). همزمان با افزایش استفاده از این نانو ماده در محصولات تجاری، امکان رهایش آن‌ها به محیط‌زیست نیز افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که میزان ورود این نانو ماده به محیط‌های آبی سرتاسر جهان در سال ۲۰۱۰، ۶۳ تن در سال برآورد شده است (Keller et al., 2013).

جیوه نیز یکی از آلاینده‌های خطرناکی است که از طریق پساب صنایع گوناگون همچون کاغذسازی و خمیر کاغذ، صنایع کلرآلکالی، صنایع فلزی، الکترونیکی، آب‌کاری، باتری‌سازی و همچنین سوختن سوخت‌های فسیلی وارد بوم‌سازگان‌های آبی می‌شود. جیوه در

محیط‌های آبی هم به شکل معدنی (Hg^{2+} و Hg^0) و هم به شکل آلی یا متیل جیوه (CH_3Hg^+) حضور دارد و دسترسی زیستی به آن بسته به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب همچون اسیدیته، دما، وجود کربن آلی محلول در آب و غیره تغییر می‌کند (Bleau et al., 1996). نشان داده شده است که هر دو شکل آلی و غیرآلی جیوه دارای اثرات سمی حاد و مزمن در آبریان مختلف هستند (Baatrup et al., 1990). غلظت‌های کشنده میانی (LC_{50}) جیوه در ماهیان آب شیرین بین ۰/۳۳ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر گزارش گردیده و این میزان برای ماهیان آب شور بالاتر است (Boening, 2000).

آمالگام عبارت است از آلیاژ جیوه با سایر فلزات و از سالیان دور، فلزات سنگین با ارزش همچون طلا و نقره از طریق تولید آمالگام استخراج می‌شده‌اند و در صنایع مختلف به‌ویژه در جواهرسازی به کار می‌رفته‌اند (Katok et al., 2012). همچنین به تازگی فرایند تولید آمالگام برای حذف یون‌های جیوه از آب و پساب با استفاده از نانوذرات فلزی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Bootharaju & Pradeep, 2010; Sumesh et al., 2014; Yordanova et al., 2011). واکنش یون جیوه دو ظرفیتی با نقره فلزی از رابطه‌ی $Hg^{2+} + 2Ag \rightarrow Hg + 2Ag^+$ پیروی می‌کند و نشان داده شده است که کاهش اندازه فلز نقره به ابعاد نانومتری (نانوذرات نقره) باعث می‌شود که نسبت جیوه به نقره در این موازنه از ۱ به ۲، به ۱/۱۲۵ به ۱ کاهش یابد و محصول نهایی این واکنش نیز آمالگام جامد می‌باشد (Katok et al., 2012). نشان داده شده است که در فرایند حذف یون جیوه از آب، علاوه بر تشکیل آمالگام بین نانوذرات نقره و جیوه، یون‌های جیوه از طریق جذب سطحی بر روی نانوذرات و همچنین تشکیل کمپلکس با عوامل شیمیایی فعال در سطح نانوذرات نقره (همچون مرکاپتو سوکسینیک اسید) نیز قابل حذف از آب هستند (Sumesh et al., 2011).

با وجود اطلاعات اشاره شده در بالا در مورد واکنش نانوذرات نقره با جیوه در آب، مشخص نیست که آیا این واکنش‌ها تأثیری بر کاهش یا افزایش سمیت جیوه بر آبریان دارند یا خیر. بنابر این هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی اثر حضور یک غلظت غیر کشنده از نانوذرات نقره

در آب، بر سمیت حاد جیوه معدنی در ماهی دانیو گورخری (*Danio rerio*) می‌باشد.

مواد و روش کار

در این مطالعه محلول ذخیره یون جیوه با غلظت ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر از طریق انحلال پودر کلرید جیوه ($HgCl_2$) در آب دو بار تقطیر ساخته شد. همچنین در این پژوهش از کلئید نانوذرات نقره موجود در بازار با نام تجاری Nanocid L2000 استفاده گردید که ویژگی‌های مهم این محصول، پیش‌تر بطور کامل مورد سنجش قرار گرفته و گزارش شده است (Asghari et al., 2012; Johari et al., 2013). بر این اساس و بطور خلاصه، کلئید مورد استفاده حاوی نانوذرات نقره با غلظت ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر، میانگین ($\pm SD$) پتانسیل زتای $53/33 \pm 7/86$ میلی‌ولت و pH ۲/۴ بود؛ همچنین میانگین قطر نانوذرات نقره در کلئید مذکور ۶ نانومتر می‌باشد.

ماهیان گورخری استفاده شده در این پژوهش از میان یک جمعیت ۵۰۰ عددی با میانگین وزن $1/45 \pm 0/32$ گرم انتخاب و به منظور سازگاری با شرایط آزمایشگاه، به مدت یک هفته در یک حوضچه پانصد لیتری همراه با هوادهی و دوره نوری ۱۲ ساعت روشنائی نگهداری شدند. میانگین دمای آب طی دوره سازگاری، 23 ± 1 درجه سانتی‌گراد بود و ماهیان روزانه یک بار و در حد سیری با غذای مخصوص ماهیان آکواریومی تغذیه می‌شدند. آب مورد استفاده برای نگهداری ماهیان در طی دوره سازگاری و همچنین انجام آزمایشات سم‌شناسی، آب شرب شهر بود که برای کلر زدایی از آن، حداقل به مدت ۲ هفته هوادهی شدید شده بود. برخی از ویژگی‌های آب هوادهی شده با استفاده از کیت سنجش ویژگی‌های شیمیایی آب اندازه‌گیری گردید؛ بر این اساس میزان آمونیاک و کلر آب صفر میلی گرم در لیتر، میزان کلسیم ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و میزان pH آن برابر ۸/۵ بود.

آزمون‌های سم‌شناسی حاد به مدت ۹۶ ساعت و بر اساس رهنمود استاندارد شماره ۲۰۳ "سازمان توسعه و همکاری اقتصادی" انجام شد (OECD, 1992). در مدت زمان انجام آزمایش‌ها، میانگین دمای آب 25 ± 1 درجه

سانتی‌گراد و میزان اکسیژن محلول همواره بالاتر از ۸ میلی گرم در لیتر بود. بر اساس استاندارد فوق غذایی به ماهیان، ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش‌های سم‌شناسی و در طی انجام آن قطع شد. همچنین دوره روشنائی مورد استفاده در طول آزمایشات به صورت ۱۶ ساعت روشنائی و ۸ ساعت تاریکی تنظیم شد. آزمایشات تعیین محدوده کشندگی و آزمایشات اصلی در بشرهای شیشه‌ای محتوی ۱ لیتر آب هوادهی شده انجام گردیدند. در تمام آزمایشات بعد از رویارویی ماهیان با ترکیبات شیمیایی مورد مطالعه، تلفات ماهیان طی ۹۶ ساعت و هر ۲۴ ساعت یک بار شمارش و ثبت می‌شد و ماهیان مرده از آب خارج می‌شدند.

برای بررسی سمیت حاد جیوه در ماهی دانیو گورخری ابتدا آزمایش تعیین محدوده کشندگی انجام شد؛ بدین منظور تعداد ۱۸ عدد ماهی در ۶ تیمار ۳ تایی و به مدت ۹۶ ساعت در معرض ۵ غلظت شامل ۰/۰۴، ۰/۰۸، ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۲، ۰/۳۲ میلی گرم در لیتر جیوه به همراه گروه شاهد (آب فاقد جیوه) قرار گرفتند. بر اساس داده‌های بدست آمده از آزمایشات اولیه، محدوده کشندگی جیوه در ماهی دانیو گورخری بین ۰/۰۴ و ۰/۲۴ میلی گرم در لیتر بدست آمد. در ادامه برای انجام آزمایشات اصلی، تعداد ۲۷۳ عدد ماهی در ۱۳ تیمار ۹ تایی و هر تیمار در ۲ تکرار، به مدت ۹۶ ساعت در معرض ۱۲ غلظت شامل ۰/۰۵، ۰/۰۶، ۰/۰۷، ۰/۰۸، ۰/۰۹، ۰/۱۰، ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶، ۰/۱۸، ۰/۲۰ و ۰/۲۲ میلی گرم در لیتر جیوه به همراه گروه شاهد (آب فاقد جیوه) قرار گرفتند.

پس از تعیین مقادیر غلظت‌های کشنده جیوه در ماهی گورخری، به منظور بررسی اثر نانوذرات نقره بر سمیت حاد جیوه، تعداد ۱۴۴ عدد ماهی گورخری در ۶ تیمار ۸ تایی و هر تیمار در ۳ تکرار در معرض غلظت‌های ۰/۱۴، ۰/۱۶، ۰/۱۸، ۰/۲۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ میلی گرم در لیتر جیوه قرار گرفتند، به طوری که به هر یک از این تیمارها، علاوه بر مقدار محاسبه شده جیوه، غلظت ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره هم اضافه گردید. غلظت نانو ذرات نقره در مطالعه حاضر بر اساس غلظت غیر کشنده گزارش شده این ماده در مطالعات پیشین بر روی ماهی دانیو گورخری

انتخاب گردید (Johari *et al.*, 2014). علاوه بر این، به منظور بررسی درستی شرایط این مرحله از آزمایشات، یک تیمار کنترل مثبت حاوی ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره (فاقد جیوه) و یک تیمار شاهد (بدون افزودن هر نوع ماده شیمیایی)، هر یک در ۳ تکرار ۸ تایی در نظر گرفته شد.

در پایان، نتایج به دست آمده از شمارش مرگ و میر ماهیان طی آزمایشات اصلی با استفاده از نسخه ۱/۵ نرم افزار EPA Probit Analysis (منتشر شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکا) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقادیر غلظت های کشنده محاسبه شد.

نتایج

در این مطالعه هیچ نوع مرگ و میری در ماهیان تیمارهای شاهد مشاهده نگردید. همچنین در ماهیان تیماری که در معرض غلظت ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر نانوذرات نقره قرار گرفته بودند (تیمار کنترل مثبت) نیز تلفات مشاهده نشد. بر اساس بررسی داده های مرگ و میر ماهیانی که در معرض غلظت های مختلف جیوه در آب قرار گرفته بودند، بیشترین غلظت فاقد اثر سمیت (NOEC) و کمترین

غلظت ایجاد کننده سمیت (LOEC) جیوه برای ماهی دانیو گورخری طی ۹۶ ساعت، به ترتیب برابر ۰/۰۵ و ۰/۰۶ میلی گرم در لیتر بودند. همچنین بر اساس بررسی داده های مرگ و میر با استفاده از نرم افزار پروبیت، حداکثر غلظت قابل قبول (MATC) جیوه برای ماهی مذکور، برابر ۰/۰۸۶ میلی گرم در لیتر محاسبه گردید؛ بر همین اساس غلظت کشنده میانی (LC₅₀) جیوه طی ۹۶ ساعت برای ماهی دانیو گورخری به میزان 0.135 ± 0.01 میلی گرم در لیتر برآورد گردید (جدول ۱).

از طرفی بر اساس بررسی داده های مرگ و میر ماهیانی که در حضور غلظت غیر کشنده نانوذرات نقره (۰/۰۱ میلی گرم در لیتر) در معرض غلظت های مختلف جیوه قرار گرفته بودند، در این حالت غلظت کشنده میانی جیوه طی ۹۶ ساعت به میزان 0.206 ± 0.002 میلی گرم در لیتر برآورد گردید (جدول ۲)؛ به عبارتی حضور نانوذرات نقره در آب، باعث کاهش ۱/۵ برابری میزان سمیت حاد جیوه در ماهی دانیو گورخری شده بود. با دقت بیشتر در اعداد جداول ۱ و ۲ مشاهده گردید که غلظتی از جیوه که در حالت عادی باعث مرگ حدود ۵۰ درصد جمعیت ماهیان شده بود، در حضور نانوذرات نقره تنها باعث مرگ ۵ درصد ماهیان گردید.

جدول ۱: مقادیر غلظت های کشنده (LC) ۹۶ ساعته جیوه و حدود اطمینان مربوط به هر یک از آن ها در ماهی دانیو گورخری (Danio rerio).

حدود اطمینان (۰/۹۵)		غلظت (میلی گرم در لیتر)	شاخص سمیت
حد بالا	حد پایین		
۰/۰۷۰	۰/۰۴۸	۰/۰۶۰	LC 1
۰/۰۸۶	۰/۰۶۴	۰/۰۷۶	LC 5
۰/۰۹۶	۰/۰۷۵	۰/۰۸۶	LC 10
۰/۱۰۳	۰/۰۸۳	۰/۰۹۴	LC 15
۰/۱۴۵	۰/۱۲۵	۰/۱۳۵	LC 50
۰/۲۱۹	۰/۱۷۵	۰/۱۹۳	LC 85
۰/۲۴۳	۰/۱۸۹	۰/۲۱۰	LC 90
۰/۲۸۴	۰/۲۱۱	۰/۲۳۸	LC 95
۰/۳۸۰	۰/۲۵۸	۰/۳۰۱	LC 99

جدول ۲: مقادیر غلظت‌های کشنده (LC) ۹۶ ساعته جیوه در حضور غلظت غیر کشنده نانو ذرات نقره (۰/۰۱ میلی گرم در لیتر) و حدود اطمینان مربوط به هر یک از آن‌ها در ماهی دانیو گورخری (*Danio rerio*).

حدود اطمینان (۰/۹۵)		غلظت (میلی گرم در لیتر)	شاخص سمیت
حد بالا	حد پایین		
۰/۱۳۵	۰/۰۸۹	۰/۱۱۷	LC 1
۰/۱۵۳	۰/۱۱۴	۰/۱۳۸	LC 5
۰/۱۶۴	۰/۱۳۰	۰/۱۵۱	LC 10
۰/۱۷۲	۰/۱۴۲	۰/۱۶۰	LC 15
۰/۲۲۱	۰/۱۹۵	۰/۲۰۶	LC 50
۰/۳۱۵	۰/۲۴۱	۰/۲۶۵	LC 85
۰/۳۴۴	۰/۲۳۵	۰/۲۸۱	LC 90
۰/۳۹۲	۰/۲۷۰	۰/۳۰۷	LC 95
۰/۵۰۳	۰/۳۰۶	۰/۳۶۲	LC 99

بحث

جستجو در منابع علمی موجود نشان می‌دهد که اولین مطالعه در مورد اثر نانومواد بر آبزیان مربوط به پژوهشی است که در سال ۲۰۰۰ در مورد سمیت نانوذرات کلرید نقره در ماهی قرمز انجام شده است (Frenkel et al., 2000). مطالعه بعدی نیز در سال ۲۰۰۴ بر روی سمیت فولرن در ماهی باس دهان بزرگ انجام گردید (Oberdörster, 2004). در سال ۲۰۰۶ نیز هفت مورد مطالعه بر روی سمیت نانومواد در آبزیان انجام گردید و از آن زمان تا کنون تعداد مقالات علمی منتشر شده در این زمینه با شیب نسبتاً شدیدی افزایش یافته است و هم‌اکنون (۲۰۱۶) بیش از ۱۲۰۰ مطالعه موردی بر روی سمیت انواع نانومواد در آبزیان گوناگون منتشر گردیده است. در این بین، اولین پژوهش‌ها در زمینه اثر حضور نانو مواد بر سمیت سایر آلاینده‌های شیمیایی در آبزیان، مربوط به دو مطالعه‌ای بود که در سال ۲۰۰۷ در زمینه اثر افزایشی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر انباشت‌زیستی آرسنات (Sun et al., 2007) و کادمیوم (Zhang et al., 2007) در ماهی کپور معمولی انجام گردید. از آن پس تا به امروز نزدیک به ۹۰ مقاله در این زمینه منتشر شده است که در بیش‌تر آن‌ها تنها اثرات افزایشی یا کاهشی نانو موادی همچون نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم، نانولوله‌های

کربنی و فولرن بر سمیت سایر مواد شیمیایی در آبزیان مورد بررسی قرار گرفته و اثرات متقابل سایر نانومواد کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این میان، دو مطالعه نیز به بررسی اثرات متقابل نانوذرات نقره و سایر مواد شیمیایی در آبزیان پرداخته‌اند. در مطالعه اول به بررسی اثر حضور همزمان نانوذرات نقره و ۱۷-آلفا اتینیل‌استرادیول (EE_2) بر تولیدمثل یک نوع حلزون آب شیرین (*Potamopyrgus antipodarum*) پرداخته شده و نشان داده شده است که غلظت‌های پایین EE_2 که در حالت عادی تأثیر مثبتی بر تولید مثل حلزون ندارند، در حضور نانوذرات نقره از خود اثرات مثبت نشان می‌دهند؛ از طرفی غلظت‌های بالای EE_2 که در حالت عادی تأثیر مثبتی بر تولید مثل حلزون دارند، در حضور نانوذرات نقره این اثرات مثبت را از خود نشان نمی‌دهند (Völker et al., 2014). در مطالعه دیگر نیز به بررسی اثرات متقابل نانوذرات نقره و نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم بر یک نوع مژه‌دار آب شیرین (*Tetrahymena pyriformis*) پرداخته شده و نشان داده شده است که اگرچه در نور طبیعی، نانوذرات TiO_2 باعث کاهش سمیت نانوذرات نقره می‌شوند، اما در شرایط تابش مداوم نور، نانوذرات TiO_2 باعث افزایش سمیت نانوذرات نقره می‌گردند؛ همچنین این دو نانو ماده در شرایط عدم تابش نور (تاریکی) اثر

منابع

- Asghari, S., Johari, S.A., Lee, J.H., Kim, Y.S., Jeon, Y.B., Choi, H.J., Moon, M.C. and Yu, I.J., 2012. Toxicity of various silver nanoparticles compared to silver ions in *Daphnia magna*. *Journal of Nanobiotechnology*. 10: 10-14.
- Baatrup, E., Døving, K.B. and Winberg, S., 1990. Differential effects of mercurial compounds on the electroolfactogram (EOG) of salmon (*Salmo salar* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 20(3): 269-276.
- Bleau, H., Daniel, C., Chevalier, G., van Tra, H. and Hontela, A., 1996. Effects of acute exposure to mercury chloride and methylmercury on plasma cortisol, T3, T4, glucose and liver glycogen in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology*. 34(3): 221-235.
- Boening, D.W., 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere*. 40: 1335-1351.
- Bootharaju, M.S. and Pradeep, T., 2010. Uptake of toxic metal ions from water by naked and monolayer protected silver nanoparticles: an x-ray photoelectron spectroscopic investigation. *The Journal of Physical Chemistry C*. 114(18): 8328-8336.
- Borase, H.P., Patil, C.D., Salunkhe, R.B., Suryawanshi, R.K., Salunke, B.K. and Patil, S.V., 2014. Mercury sensing and toxicity studies of novel latex fabricated silver nanoparticles. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 37(11): 2223-2233.
- متقابلی بر سمیت یکدیگر در آبی مورد بررسی نداشتند (Zou *et al.*, 2014). دارا بودن سطح بسیار فعال و واکنش‌پذیر نانوذرات نقره باعث پتانسیل بسیار بالای آن در جذب مواد دیگر می‌شود (Tolaymat *et al.*, 2010). البته در یک مطالعه دیگر نشان داده شد که نانوذرات نقره بر خلاف نانوذرات طلا نسبت به فناترن (نوعی هیدروکربن معطر چند حلقه ای) میل ترکیبی ندارند (Farkas *et al.*, 2012)؛ بنابر این هم نوع نانوذرات و هم نوع سایر ترکیبات شیمیایی در امکان ترکیب آن‌ها با یکدیگر تأثیرگذار می‌باشد.
- اگرچه با توجه به جستجوهای انجام شده به نظر می‌رسد که هیچ مطالعه‌ای در رابطه با اثر متقابل بین نانوذرات نقره و جیوه آلی یا معدنی در آبزیان وجود ندارد، اما نشان داده شده است که حضور یون نقره (Ag^+) در آب باعث کاهش ۳۰ درصدی انباشت‌زیستی متیل جیوه در ماهی دانیو گورخری می‌شود (Ribeyre *et al.*, 1995). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که حضور نانوذرات نقره، باعث کاهش سمیت حاد جیوه معدنی در ماهی دانیو گورخری می‌شود که احتمالاً دلیل آن یا تشکیل آمالگام بین نقره و جیوه و یا جذب سطحی یون‌های جیوه بر روی نانوذرات نقره می‌باشد که هر دوی این فرایندها باعث کاهش دسترسی زیستی جیوه برای ماهی می‌گردند. در همین رابطه، تشکیل ترکیب Ag_3Hg_2 بر اثر واکنش بین نانوذرات نقره و یون جیوه قبلاً گزارش شده است (Sumesh *et al.*, 2011)؛ همچنین نشان داده شده که واکنش تشکیل آمالگام بین جیوه و نانوذرات نقره باعث افزایش اندازه نانوذرات نقره می‌شود (Borase *et al.*, 2014). در مجموع با توجه به محدود بودن اطلاعات در مورد اثر متقابل نانوذرات نقره و جیوه در بوم‌سازگان‌های آبی، انجام پژوهش‌های دقیق‌تر در رابطه با ساز و کارهای مؤثر در این رابطه ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان لازم می‌دانند از مرکز پژوهشی ساخت و کاربرد نانو ذرات دانشگاه کردستان در حمایت از انجام این پژوهش قدردانی نمایند.

- Farkas, J., Nizzetto, L. and Thomas, K.V., 2012.** The binding of phenanthrene to engineered silver and gold nanoparticles. *Science of the Total Environment*. 425: 283-288.
- Frenkel, V., Kimmel, E. and Iger, Y., 2000.** Ultrasound-facilitated transport of silver chloride (AgCl) particles in fish skin. *Journal of Controlled Release*. 68(2): 251-261.
- Johari, S.A., Kalbassi, M.R., Soltani, M. and Yu, I.J., 2013.** Toxicity comparison of colloidal silver nanoparticles in various life stages of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 12(1): 76-95.
- Johari, S.A., Sourinejad, I., Bärsch, N., Saed-Moocheshi, S., Kaseb, A. and Nazdar, N., 2014.** Does physical production of nanoparticles reduce their ecotoxicity? A case of lower toxicity of AgNPs produced by laser ablation to zebrafish (*Danio rerio*). *International Journal of Aquatic Biology*. 2(4): 188-192.
- Katok, K.V., Whitby, R.L., Fukuda, T., Maekawa, T., Bezverkhyy, I., Mikhalovsky, S.V. and Cundy, A.B., 2012.** Hyperstoichiometric interaction between silver and mercury at the nanoscale. *Angewandte Chemie International Edition*. 51(11): 2632-2635.
- Keller, A.A., McFerran, S., Lazareva, A. and Suh, S., 2013.** Global life cycle releases of engineered nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research*. 15: 1692.
- Oberdörster, E., 2004.** Manufactured nanomaterials (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environmental Health Perspectives*. 112(10): 1058-1062.
- OECD, 1992.** OECD Guidelines for the testing of chemicals. Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France.
- Piccinno, F., Gottschalk, F., Seeger, S. and Nowack, B., 2012.** Industrial production quantities and uses of ten engineered nanomaterials for Europe and the world. *Journal of Nanoparticle Research*. 14: 1109-1120.
- Ribeyre, F., Amiard-Triquet, C., Boudou, A. and Amiard, J.C., 1995.** Experimental study of interactions between five trace elements--Cu, Ag, Se, Zn, and Hg--toward their bioaccumulation by fish (*Brachydanio rerio*) from the direct route. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 32(1): 1-11.
- Sumesh, E., Bootharaju, M.S., Anshup. T. and Pradeep, T., 2011.** A practical silver nanoparticle-based adsorbent for the removal of Hg²⁺ from water. *Journal of Hazardous Materials*. 189(1-2): 450-457.
- Sun, H., Zhang, X., Niu, Q., Chen, Y. and Crittenden, J.C., 2007.** Enhanced accumulation of arsenate in carp in the presence of titanium dioxide

- nanoparticles. *Water, Air, & Soil Pollution*. 178: 245–254.
- Tolaymat, T.M., El Badawy, A.M., Genaidy, A., Scheckel, K.G., Luxton, T.P. and Suidan, M., 2010.** An evidence-based environmental perspective of manufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: a systematic review and critical appraisal of peer-reviewed scientific papers. *Science of the Total Environment*. 408(5): 999–1006.
- Völker, C., Gräf, T., Schneider, I., Oetken, M. and Oehlmann, J., 2014.** Combined effects of silver nanoparticles and 17 α -ethinylestradiol on the freshwater mudsnail *Potamopyrgus antipodarum*. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(18): 10661-10670.
- Woodrow Wilson Database, 2014.** Nanotechnology consumer product inventory.
<http://www.nanotechproject.org/cpi/about/analysis/>. Accessed May 15, 2015.
- Yordanova, T., Vasileva, P., Karadjova, I. and Nihtianova, D., 2014.** Submicron silica spheres decorated with silver nanoparticles as a new effective sorbent for inorganic mercury in surface waters. *Analyst*. 139(6): 1532-1540.
- Zhang, X., Sun, H., Zhang, Z., Niu, Q., Chen, Y. and Crittenden, J.C., 2007.** Enhanced bioaccumulation of cadmium in carp in the presence of titanium dioxide nanoparticles. *Chemosphere*. 67(1): 160-166.
- Zou, X., Shi, J. and Zhang, H., 2014.** Coexistence of silver and titanium dioxide nanoparticles: enhancing or reducing environmental risks? *Aquatic Toxicology*. 154: 168-175.

Effect of silver nanoparticles on the acute toxicity of mercury in Zebrafish (*Danio rerio*)

Johari S.A. *

*a.johari@uok.ac.ir

Assistant professor, Fisheries Department, Natural Resources Faculty, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Received: May 2015

Accepted: December 2015

Keywords: Acute toxicity, Amalgam, Co-exposure, Mercuric chloride, Silver nanoparticles, Zebrafish.

Abstract

It is important to evaluate the co-exposure effects of chemical contaminants on aquatics. Mercury ions and silver nanoparticles are among the chemicals mixed together through amalgamation. This study was aimed to evaluate the effect of the presence of a non-lethal concentration of silver nanoparticles in water on the acute toxicity of inorganic mercury in zebrafish. In the presence or absence of silver nanoparticles, therefore, median lethal concentrations (LC₅₀) of mercury were calculated according to the OECD standard guideline. The comparison of LC₅₀s showed that the presence of 0.1 mg silver nanoparticles per liter, reduces the acute toxicity of mercury in the zebrafish by 1.5-fold (LC₅₀ increased from 0.135 ± 0.010 to 0.206 ± 0.002 mg/L). Although the reduction of mercury toxicity in the presence of silver nanoparticles is probably due to the reduction of its bioavailability as a result of amalgamation or adsorption of mercury ions on the surface of nanoparticles, but further studies are needed to understand the exact mechanism of interaction between mercury and silver nanoparticles in aquatic environment.

* Corresponding author